

Расчетное задание

Расчет болтовых соединений

Часть 3

1. Технические требования к крепежным резьбовым деталям.
2. Определение допускаемого напряжения.
3. Определение внутреннего диаметра резьбы
4. Выбор элементов резьбового соединения

1. Технические требования к крепежным резьбовым деталям

Технические требования к крепежным изделиям изложены в ГОСТ 1759.0–87. Стандарт устанавливает требования к механическим свойствам крепежных изделий, виды и условное обозначение покрытий для них, маркировку, упаковку изделий и их условные обозначения.

Допуски, методы контроля размеров и отклонений формы и расположения поверхностей устанавливает ГОСТ 1759.1–82. Дефекты поверхности и методы их контроля для болтов, винтов и шпилек регламентирует ГОСТ 1759.2–82, а для гаек – ГОСТ 1759.3–83. Крепежные изделия выпускаются грубой (С), нормальной (В) и повышенной точности (А), без покрытия или с покрытиями.

Для болтов и гаек используется **метрическая резьба**. Метрическая резьба характеризуется углом профиля $\alpha = 60^\circ$, теоретической высотой профиля $H = 0,86602p$, рабочей высотой $H_1 = 0,54126p$. Вершины резьбы срезаны по внутреннему диаметру гайки и по наружному диаметру стержня болта.

На метрическую резьбу установлены следующие стандарты:

ГОСТ 9150 – 2002 на профиль метрической резьбы с шагом до 6 мм.

ГОСТ 8724 – 2002 на диаметры и шаги метрической резьбы.

В **условное обозначение** метрической резьбы входят: буква **M**, номинальный диаметр резьбы, числовое значение шага (для резьбы с мелким шагом), буквы **LH** для левой резьбы. Например, резьба с номинальным диаметром 24 мм с крупным шагом обозначается M24; резьба того же диаметра с мелким шагом 1,5 мм – M24×1,5; такая же по диаметру левая резьба с крупным и мелким шагом соответственно M24LH и M24×1,5LH.

Болты различают:

- по форме и размерам головки;
- по форме стержня;
- по шагу резьбы;
- по характеру исполнения;
- по точности изготовления.

В зависимости от условий работы и назначения головки болтов могут иметь шестигранную, полукруглую или потайную форму.

Крепежные детали изготавливают из углеродистых сталей обычного качества (Ст3) ГОСТ 380–2005, качественных конструкционных сталей (Ст20, Ст30, Ст35, Ст45) ГОСТ 1050–88 и для ответственных соединений из легированных конструкционных сталей (40Х, 40ХН, 30ХГСА и др.) ГОСТ 4543–71. Для повышения прочности крепежные детали из среднеуглеродистых сталей подвергаются термической обработке.

Механические свойства болтов, винтов и шпилек из углеродистых нелегированных и легированных сталей в соответствии с ГОСТ Р52627–2006 при нормальной температуре характеризуют 11 классов прочности, а именно: 3.6; 4.6; 4.8; 5.6; 5.8; 6.6; 6.8; 8.8; 9.8; 10.9; 12.9. Класс прочности обозначен двумя числами, разделенными точкой. Первое из этих чисел, умноженное на 100, определяет минимальное временное сопротивление в Н/мм², второе число, умноженное на 10, – отношение предела текучести к временному сопротивлению в процентах. Произведение чисел, умноженное на 10, определяет предел текучести в Н/мм².

Например, для класса прочности 5.8 минимальное временное сопротивление составит 500 Н/мм², предел текучести будет равен 400 Н/мм² и отношение предела текучести к временному сопротивлению будет равно 80

Гайки классифицируют:

- по форме поверхности;
- по характеру исполнения;
- по шагу резьбы;
- по точности изготовления.

По форме поверхности различают гайки шестигранные, круглые, гайки – барашки, колпачковые.

Наиболее широкое применение получили шестигранные гайки, которые изготавливаются классов точности В, А, С (нормальной, повышенной, грубой точности).

Шестигранные гайки по конструкции делятся на обыкновенные, прорезные и корончатые, а по высоте на высокие, нормальные и низкие.

Для гаек из углеродистых нелегированных и легированных сталей установлены следующие классы прочности: 4; 5; 6; 8; 9; 10; 12 – для высоких гаек.

Для гаек с номинальной высотой, равной или более $0,5d$ и менее $0,8d$ классы прочности: 04 и 05. Класс прочности обозначен числом, которое при умножении на 100 дает величину напряжения от испытательной нагрузки в МПа.

Примеры условных обозначений болтов:

Болт исполнения 1, диаметром резьбы $d = 20$ мм, длиной $l = 90$ мм, с крупным шагом резьбы, с полем допуска 6g, класса прочности 5.8, без покрытия:

болт М20 – 6g × 90.5.8 ГОСТ 7798–70.

То же исполнения 3, с мелким шагом резьбы с полем допуска 6g, класса прочности 10.9, из стали 40Х, с покрытием 01 толщиной 9 мкм:

болт 3М20 ×1,5 – 6g × 90.10.9.40Х.019 ГОСТ 7798–70.

Примеры условных обозначений гаек:

Гайка исполнения 1, с диаметром резьбы $d = 16$ мм, с крупным шагом резьбы с полем допуска 6H, класса прочности 5, без покрытия:

гайка М16 – 6H.5 ГОСТ 5915–70.

То же исполнения 2, с мелким шагом резьбы с полем допуска 6H, класса прочности 12, из стали марки 40Х, с покрытием 01 толщиной 9 мкм:

гайка 2М16 ×1,5 – 6H.12.40Х.019 ГОСТ 5915–70.

Допускаемые напряжения и коэффициенты запаса прочности при расчете резьбовых соединений принимают по таблицам

1. Приложение № 1 Физико-механические свойства некоторых материалов.
2. Приложение № 2. Значения коэффициентов запаса прочности и допускаемых напряжений при расчете болтовых соединений.
3. Приложение № 3. Значения коэффициентов запаса прочности при расчете болтов с неконтролируемой затяжкой.
4. Приложение № 4. Некоторые значения сочетаний наружного диаметра d , внутреннего диаметра d_1 , шага p (мм) для метрической резьбы по ГОСТ 24765-81

2. Определение допускаемого напряжения

Выполнение расчета проведем на примере крюковой подвески состоящей из соединений:

- грузовой скобы,
- рым-болта,
- нарезанного участка крюка для подъема груза.

Приведем условие прочности по напряжению растяжения стержня

$$\sigma_p = \frac{F}{A} = \frac{4F}{\pi d_1^2} \leq [\sigma_p], \quad (1)$$

где F – растягивающая сила,

A - площадь поперечного сечения болта по резьбе,

d_1 - внутренний диаметр резьбы.

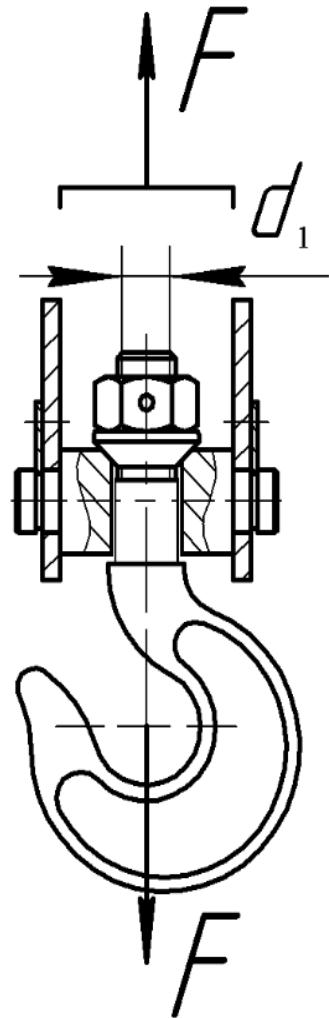


Рис.1 Крюковая подвеска

Допускаемое напряжение растяжения можно определить по формуле

$$[\sigma_p] = \frac{\sigma_T}{[s]}, \quad (2)$$

где σ_T - предел текучести материала болта, МПа;
 $[s]$ – коэффициент запаса прочности.

Выкрашивание поверхности схоже с усталостью поверхности, но отличается от него более сильной степенью повреждения подшипника и может указывать на то, что подшипник исчерпал ресурс усталости.

3. Выбор элементов резьбового соединения

Рассчитать резьбовой участок крюка для подъема груза (рис. 2.1) воспринимающий максимальную нагрузку $F = 11,5$ кН. Материал крюка сталь 20 (ГОСТ 1050–74).

Гайка навёрнута на резьбовой участок крюка без затяжки, поэтому он воспринимает только внешнюю растягивающую нагрузку от веса груза. Согласно табл. П1 для заданного материала $\sigma_T = 240$ МПа. Тогда допускаемое напряжение (приложение № 2):

$$[\sigma_p] = 0,6 \sigma_T = 0,6 \cdot 240 = 144 \text{ МПа.}$$

Определение внутреннего диаметра резьбы:

из условия прочности на растяжение формула (1) внутренний диаметр резьбы

$$d_1 = \sqrt{\frac{4 \cdot F}{\pi \cdot [\sigma_p]}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 11500}{3,14 \cdot 144}} = 10,08 \text{ мм.}$$

Согласно приложения № 5 подбираем резьбу М12 с шагом 1,5 мм, для которой $d_1 = 10,376 \text{ мм} > 10,08 \text{ мм}$

резьба М12 ГОСТ 24765-81.

Физико-механические свойства некоторых материалов

Материал	Временное сопротивление σ_B , МПа	Предел текучести σ_T , МПа	Предел выносливости σ_{-1} , МПа
СТАЛЬ			
Ст3-Ст10	380-470	200-240	120-160
Ст20	420-500	240	120-160
Ст30	500-600	300	170-210
Ст45	610-750	360	190-250
Ст50Г	710	420	250-320
Ст40Х	730-1050	650-900	240-340
Ст30ХГСА	1100-1700	850-1500	340-500

Приложение №1

Материал	Временное сопротивление σ_B , МПа	Предел текучести σ_T , МПа	Предел выносливости σ_{-1} , МПа
ЧУГУН			
Сч15	147	-	-
Сч35	340	-	-
ЛАТУНЬ			
Л68	320	80	1720
БРОНЗА			
БрОФ10-1	250	-	-
БрОЦС5-5-5	200	40-50	-
БрАЖ9-4	550	200	-

Механические свойства болтов с шестигранной головкой (ГОСТ 7798–70 , ГОСТ 7796–70)												
Класс прочно-сти	3.6	4.6	4.8	5.6	5.8	6.6	6.8	8.8	9.8	10.8	12.9	
Материал и термообработка	Сталь 10	Сталь20	Сталь 10	Сталь 30(35)	Сталь 10	Сталь 35	Сталь20	Сталь 35,40Х, 35Х, 30ХГСА, т.о. – закалка, отпуск				
Предел прочно-сти, (МПа)	300	400		500		600		800	900	1000	1200	
Твер-дость по Бринел-лю, НВ	<i>min</i>	90	114	124	147	152	181		238	276	304	366
	<i>max</i>	238						318	342	361	414	

Значения коэффициентов запаса прочности и допускаемых напряжений при расчете болтовых соединений

Вид нагрузки		Номер формул	Допускаемое напряжение	Рекомендуемые значения		
				затяжка	Статическая нагрузка	Переменная нагрузка
Растягивающая внешняя нагрузка: без затяжки болтов с затяжкой болтов		2.1	$[\sigma_p]=0,6 \sigma_T$	Контролируемая	$[s]=1,2-1,5$	$[s_T]=1,5-2,5$
		2.11 2.25	$[\sigma_p] = \sigma_T/[s]$	Неконтролируемая	по табл. ПЗ	$[s_T]=2,5-4$ $[s]$ —по табл. ПЗ
Поперечная внешняя нагрузка:	болты поставлены с зазором	2.31	$[\sigma_p] = \sigma_T/[s]$	Контролируемая $[s]=1,5-2,5$ Неконтролируемая $[s]$ по табл. ПЗ		
	болты поставлены без зазора	2.35 2.36	$[\tau_{cp}]=0,4\sigma_T$ – статическая нагрузка $[\tau_{cp}]=(0,2-0,3)\sigma_T$ – переменная нагрузка $[\sigma_{cm}]=0,8 \sigma_T$ – сталь $[\sigma_{cm}]=(0,4-0,5)\sigma_B$ - чугун			

При оценке прочности деталей в стыке в зависимости от материала:

$[\sigma_{cm}]=0,8 \sigma_T$ – сталь; $[\sigma_{cm}]=0,4 \sigma_T$ – чугун; $[\sigma_{cm}]=1-2$ МПа – бетон;

$[\sigma_{cm}]=2-4$ МПа – дерево.

Значения коэффициентов запаса прочности при расчете
болтов с неконтролируемой затяжкой

Материал болта	Постоянная нагрузка		Переменная нагрузка	
	M6-M16	M16-M30	M6-M16	M16-M30
Углеродистая сталь	5-4	4-2,5	12-8,5	8,5
Легированная сталь	6.5-5	5-3,3	10-6,5	6,5

Некоторые значения сочетаний наружного диаметра d , внутреннего диаметра d_1 , шага p (мм) для метрической резьбы по ГОСТ 24765-81

d	p	d_1	d	p	d_1	d	p	d_1	
5	0,8 ^x	4,134	16	2 ^x	13,835	24	1	22,917	
	0,5	4,459		1,5	14,376		0,75	23,188	
6	1 ^x	4,917		1	14,917	(27)	3 ^x	23,752	
	0,75	5,188		0,75	15,188		2	24,835	
	0,5	5,459		0,5	15,459		1,5	25,376	
8	1,25 ^x	6,647	(18)	2,5 ^x	15,294		1	25,917	
	1	6,917		2	15,935		0,75	26,188	
	0,75	7,188		1,5	16,376		30	3,5 ^x	26,211
	0,5	7,459		1	16,917			3	26,752
10	1,5 ^x	8,376		0,75	17,185		2	27,835	
	1,25	8,647		0,5	17,459		1,5	28,376	
	1	8,917		20	2,5 ^x		17,294	1	28,918
	0,75	9,188			2		17,835	0,75	29,188
	0,5	9,459			1,5		18,376	(33)	3,5 ^x
12	1,75 ^x	10,106		1	18,917	3	29,752		
	1,5	10,376		0,75	19,188	2	30,835		
	1,25	10,647		0,5	19,159	1,5	31,376		
	1	10,917		(22)	2,5 ^x	19,294	1	31,918	
	0,75	11,188			2	19,835	0,75	32,188	
0,5	11,459	1,5	20,376		36	4	31,670		
(14)	2 ^x	11,835		1		20,917	3	35,752	
	1,5	12,376		0,75	21,188	42	4,5	37,129	
	1,25	12,647		0,5	21,459		4	37,129	
	1	12,917		24	3 ^x		20,752	3	38,752
	0,75	13,188			2	21,835	48	5	42,752
0,5	13,459	1,5	22,376						

Примечание: 1. ^x - резьбы с крупным шагом. 2. Без скобок приведены диаметры первого ряда, которые следует предпочитать диаметрам второго ряда, заключенным в скобки.